다중경로 채널에서 정합필터를 이용한 코드 추적 루프 최대 우도 알고리즘

손 승 호*, 이 상 욱** 정회원

A Maximum Likelihood Method of Code Tracking Loop Using Matched Filter in Multi-path Channel

Seungho Son*, Sanguk Lee** *Regular Members*

요 약

위성 기반 측위 시스템은 위치 기반 기술의 핵심 기술로서, CDMA 시스템을 사용한다. CDMA 시스템에서 원활한 위치 측위를 하기 위해서는 확산 부호의 정확한 동기가 이루어져야 한다. 본 논문은 확산 부호의 동기 기법 가운데 부호 추적 기법에 초점을 맞춘다. 특히 다중 경로 환경에서 기존의 부호 추적 기법인 DLL 방법은 적합하지 않다. 본 논문은 수신 신호에서 다중 경로 신호를 축출하여 이를 부호 추적 기법에 사용하는 방법을 제안한다. Spirent simulator를 이용하여 제안 기법을 검증하고 성능 평가를 보인다.

Key Words : GPS, CDMA; Code tracking loop; Maximum Likelihood; DLL.

ABSTRACT

The navigation system like GPS which is core technology is based on Code Division Multiple Access(CDMA) techniques. To receive satellite signal smoothly in CDMA, received signals have to synchronize with spread code. In this paper, we focus on the code tracking methods among synchronization techniques. The conventional delay lock loop(DLL) is unsuitable for multi-path channel. We will introduce how it overcomes distortion by multi-path. We will propose method that separates out multi-path signals and tracks the each path signals. And we will confirm performance of proposed method using Spirent simulator.

I. 서 론

최근 더욱 정확한 위치기반 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히 위치기반 서비스가 주로 이용되는 도심지 또는 실내에서 요구가 특히 증가하였다. 위치 결정 기술은 크게 위성 기반과 지상망 기반 무선 측위 기법으로 나뉜다.

본 논문은 위성기반의 GNSS에 대하여 기술한다. GNSS의 대표 시스템인 GPS 및 Galileo 위성은 CDMA 기반의 통신 시스템을 갖추고 있다. GNSS 수신기에서 원활한 신호를 수신하기 위해서는 수신한 확산 신호와 수신기의 확산 신호의 동기가 이루어져야 한다[1]. 확산 신호의 동기 여부에 따라 위치 정확도의 성능이 크게 좌우된다. 일반적으로 신호 동기는 초기 단계인 신호 획득과 정밀 단계인 신호 추적 단계로 나뉜다. 신호 추적 단계는 신호 획득 단계에서 얻은 정보를 이용하여 정확한 동기 정보를 유지하는 것이 목적이다. 본 논문은 추적 단계 중 부호 추적 기법에 초점을 맞춘다.

가장 널리 알려진 부호 추적기법은 -DLL이다. 여기서 는 이른 상관 값과 늦은 상관 값의 차를 나타낸다. 이는 확산 신호의 상관 값의 대칭성을 이용하여 정확한 동기 지점을 추적하는 기법으로 이상적인 환경에서 최적 부호 추적 기법이다. 그러나 이 기법은 도심지 및 실내 환경에서는 다중 경로 신호로 인해 추적 오차가 존재하게 된다.

이후 다중 경로 환경에서 추적 오차를 줄이기 위한 기법으로 매우 이른/늦은(VE/VL : Very Early/Late) 상관기를 추가하여 두 개의 -DLL을 사용하는 기법이 제안 되었다[2][3].

* 한국전자통신연구원 위성무선융합연구부 위성항법연구팀(shson77@etri.re.kr), ** 한국전자통신연구원 위성무선융합연구부 위성항법연구팀(slee@etri.re.kr)
※본 연구는 지식경제부 및 산업기술연구회의 협동연구과제의 일환으로 수행되었습니다
[09AR2210, GPS/Galileo환경에서의 위성항법신호생성/수신처리 및 측위성능향상 기초연구]
접수일자 : 2010년 6월 7일, 수정완료일자 : 2010년 6월 18일, 최종게재확정일자 : 2010년 6월 25일

VE/VL을 이용한 기법은 기존의 기법에 비해 좁은 칩 간격을 이용하기 때문에 추적 오차가 감소하게 된다. 그러나 이 기법 역시 추적 오차가 존재 하며, 칩 간격이 좁아져 정밀한 신호 획득 단계가 요구되는 단점이 존재 한다.

Ⅱ. 부호 추적 알고리즘

본 논문에서 가정한 $x(t)$를 송신하였을 때 기저대역 수신 신호 $r(t)$의 모형은 식 (1)과 같다.

$$r(t) = \sum_{i=0}^{M} \alpha_i x(t-\tau_i) e^{-j2\pi f_d t} + n(t) \quad (1)$$

여기서 M은 다중경로의 개수, α_i는 각 다중 경로의 진폭을 나타낸다. 그리고 τ_i와 f_d는 지연 시간과 도플러를 나타낸다. 마지막으로 $n(t)$는 백색잡음이다.

일반적인 부호 추적 기법인 -DLL은 수신 신호와 확산 부호의 상관 값을 이용한다. 상관 함수 $R(\tau)$는 식 (2)와 같다.

$$R(\tau) = \frac{1}{NT_c}\int_0^{NT_c} r(t)c(t+\tau)dt \quad (2)$$

N은 확산 부호의 길이, τ는 상관 시간 옵셋을 의미한다.

상관 함수를 이용하는 Δ-DLL의 판별기는 다음과 같다.

$$D_{\Delta}(\tau) = R(\tau+\frac{\Delta}{2}) - R(\tau-\frac{\Delta}{2}) \quad (3)$$

정확한 동기를 이룰 때 상관 함수 $R(\tau)$를 중심으로 상관 값이 정확히 대칭을 이루기 때문에 $D_{\Delta}(\tau)$는 0이 된다. 그러나 그림 1과 같이 다중경로가 존재하는 경우 대칭성이 왜곡 되어 E-L 판별기로 오차를 검출하는 시스템에 치명적인 문제를 일으킨다. 이와 같은 다중경로의 영향을 줄이기 위해 High resolution correlation(HRC)나 Mult-Gate Delay(MGD) 같은 기법들이 제안 되었다[4][5]. 위의 기법들은 서로 다른 칩 간격의 E-L를 추가로 사용함으로 기존의 하나의 E-L 판별기 보다 다중경로 환경에서 상대적으로 작은 오차 값을 갖는다. 그러나 칩 간격이 작아질수록 오차를 검출할 수 있는 범위가 줄어드는 단점을 가지고 있고 칩 간격이 작은 판별기를 사용한다고 해도 대칭성이 깨진 상관 값을 바탕으로 오차를 검출하기 때문에 여전히 편이가 존재한다.

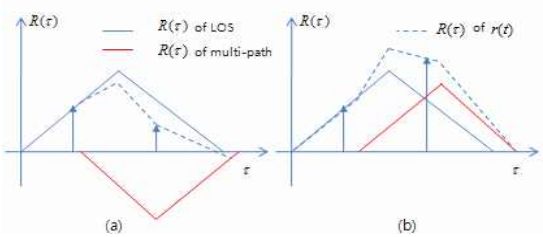


그림 1. 다중경로 채널에서의 EPL 상관 특성

Ⅲ. 제안 방식

앞 장에서 언급한 바와 같이 다수의 상관기를 이용하는 E-L 기법들은 하나의 상관기를 갖는 기법에 비해 작은 오차 편이를 갖는다. 그러나 추적 범위가 줄어들어 신호 획득 과정이 더 정밀해져야 하는 과정이 필요하게 된다. 따라서 본 논문에서는 수신된 신호로부터 다중 경로 신호를 정합 필터를 이용해 추정하고 분리하여 오차를 검출하는 기법을 제안하고자 한다.

그림 2에서 보는 것 같이 수신 신호의 상관 값은 다중 경로에 의해 두 상관 값이 결합되어 있다. 수신 신호에서 다중 경로를 분리하여 상관 값을 구하면 가시신호와 다중 경로 신호의 상관 값을 각각 구할 수 있고 상관 함수의 대칭성이 왜곡 되지 않고 그림 2와 같이 얻을 수 있다. 따라서 각각 구한 상관 함수로부터 편이 값을 갖지 않는 정확한 추적 오차를 검출할 수 있게 된다.

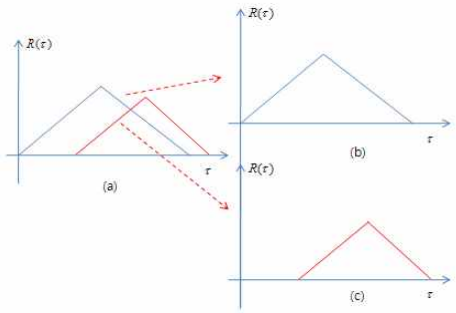


그림 2. (a) 다중경로 채널에서의 EPL 상관 특성 (b)가시신호의 EPL 상관 특성 (c) 다중 경로 신호의 EPL 상관 특성

수신 신호로부터 가시신호와 다중 경로 신호는 정합 필터를 이용하여 분리할 수 있다. 각각 신호들의 지연 시간과 신호의 크기를 정합 필터를 이용하여 구하고 다음의 순서로 신호들을 분리한다.

- 스텝 1.

먼저 수신 신호를 첫 번째 다중 신호의 지연 시간 τ_1만큼 지연시킨다. 그리고 다중 신호의 크기 α_1을 이용하여 식 (4)와 같이 수신 신호로부터 빼준다.

$$r_0(t) = r(t) - \frac{\alpha_1}{\alpha_0} r(t-\tau_1) \quad (4)$$

- 스텝 2.

스텝 1의 결과는 다음 그림3과 같다. 파트 1을 제거하기 위해 스텝 1을 수행 하게 되면 파트 2 부분이 중복이 되어 다시 보상 과정을 수행하여 가시신호를 검출 한다.

$$r_0'(t) = r_0(t) + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_0}\right)^2 r(t-2\tau_1) \quad (5)$$

- 스텝 3.

스텝 2에서 얻은 가시신호 $r_0'(t)$ 를 이용하여 식(6)과 같이 다중 경로 신호 검출한다.

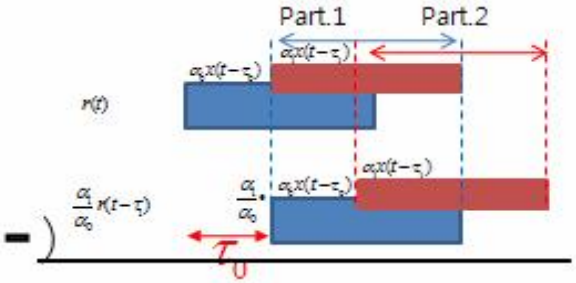


그림 3. 스텝 1

$$r_1(t) = r(t) - r_0'(t) \qquad (6)$$

위 과정을 통해 분리 된 신호들을 이용하여 서로 다른 부호 추적 루프를 구성하여 각각 신호에 대해 식(3)의 신호 추적을 수행한다.

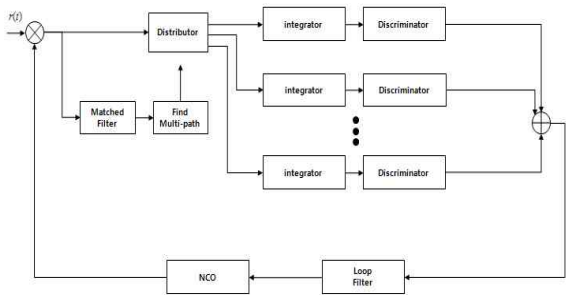


그림 4. 제안 방식의 블락도

Ⅳ. 모의 실험

제안 기법의 성능을 확인하기 위해 $M=1$, $\alpha=0.7$ 인 다중 경로 채널을 FIR 필터를 이용하여 설계하였고, spirent simulator를 이용하여 SNR이 20 dB인 GPS L1신호를 생성하였다. 본 논문에서는 다중 경로 채널에서 수신 신호와 분리 된 신호들의 추적 결과에 초점을 맞췄다. 또한 기존의 기법으로는 HRC기법을 사용하였고, HRC의 칩 간격은 $\Delta_1=0.25$ 와 $\Delta_1=0.125$ 로 설정하였다. 각 누적 시간은 10 ms로 하였다.

그림 5의 (a)는 정합 필터의 결과, (b)와 (c)는 정합 필터의 결과로부터 지연 시간을 측정하여 분리 한 가시신호와 다중 경로 신호를 나타낸다. 이 결과는 다중 경로 신호가 혼합되어 있는 수신신호를 각 경로별로 분리됨을 나타낸다. 수신신호에서 분리 된 가시 신호의 자기상관 값이 신호가 겹쳐 있을 때보다 이득을 보인다. 표 1은 자기 상관 값의 이득을 나타낸다. 제안한 방식은 그림 5에서 보여지는 (b)와 (c)를 이용하여 코드 추적 루프를 구현하였다. 수신된 신호를 분리하지 않고 early, very early, late 그리고 very late 코드를 이용하는 추적 루프를 이용하여 수신 처리 한 결과 코드 위상 오차의 RMS는 0.0086으로 나타났다. 반면 제안한 방식의 경우 0.0043으로 나타났다. 이는 시간 지연으로 인한 간섭 성분을 미리 제거함으로 추적 편이를 줄일 수 있다는 것을 의미한다.

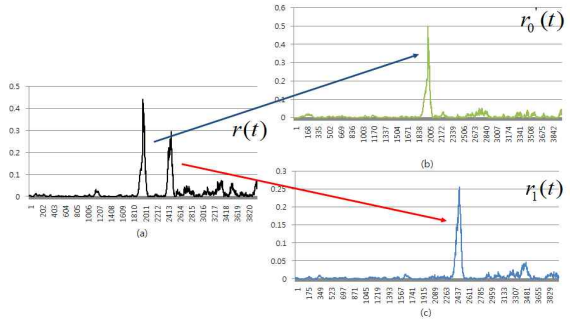


그림 5. 분리된 신호들의 자기 상관 값

표 1. Auto-correlation results of signals

Item	Value(normalize)
중첩 신호의 상관 값	0.442407
가시 신호의 상관 값	0.500704
중첩 신호 분리 이득	13.17%

표 2. Code error RMS

	RMS
Conventional	0.008669
Proposed	0.004374

Ⅴ. 결론

본 논문에서 제안한 정합 필터를 이용하여 다중 경로 신호를 분리하고 이들을 코드 추적 루프에 이용하는 보상기는 기존의 방식보다 상대적으로 적은 추적편이를 효과적으로 보상할 수 있다. 작은 Δ를 사용하지 않기 때문에 기존의 방식보다 넓은 추적 범위를 가질 수 있다. 또한 이 제안 방식을 반송파 추적루프 및 신호획득과의 연동을 통한 기법에 대한 연구를 진행하고 있다.

참 고 문 헌

[1] E. Kaplan, “Understanding GPS Principles and Applications”, 2nd Ed., Artech House Publishers, Inc., North-wood, MA, 2005.

[2] M. S. Braash, “Performance comparison of multipath mitigation algorithm,” in Proc. IEEE Aerospace, vol. 3, pp. 1309-1315, Big-Sky, MT, Mar. 2001.

[3] A. J. Van Dierendonck, P. Fenton, and T.Ford,

"Theory and performance of narrow correlator spacing in a GPS receiver," in Proc. ION, vol. 39,.

[4] G. McGraw and M. Braasch, “GNSS multipath mitigating using gated and high resolution correlator concepts,” Institute of Navigation, National Technical Meeting 'Vision 2010: Present and Future', San Diego, USA, 25–27 Jan. 1999, pp. 333–342, 1999

[5] Heikki Hurskainen, Elena Simona Lohan, Xuan Hu, Jussi Raasakka, and Jari Nurmi, "Multiple Gate Delay Tracking Structures for GNSS Signals and Their Evaluation with Simulink, SystemC, and VHDL," International Journal of Navigation and Observation, vol. 2008, Article ID 785695, 2008,

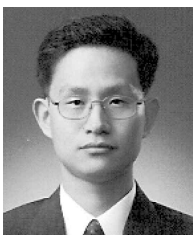
저 자

손 승 호(Seungho Son) 정회원

2007년 2월 : 건국대학교 전자 공학과 졸업
2009년 2월 : 건국대학교 전자공학과 석사
2009년 3월～현재 : 한국전자통신연구원 연구원

<관심분야> 이동 통신, 신호 처리, 위성항법

이 상 욱(Sanguk Lee) 정회원



1988년 2월 : 연세대학교 천문기상학과 졸업
1991년 3월 : 미국 Auburn대학교 항공우주공학 석사
1994년 3월 : 미국 Auburn대학교 항공우주공학 박사
1993년 3월～현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 위성제어 및 관제, 위성항법 및 항법 응용